

재활용재료를 이용한 지하매설물용 유동성뒤채움재 개발

이관호*, 김성겸**, 함상민**, 김영진***

*공주대학교 건설환경공학과 교수 (kholee@kongju.ac.kr)

**공주대학교 방재공학과 석사과정

***LH공사 건설기술연구실 수석연구원, 공학박사

Development of CLSM for Underground Structure Using Recycling Materials

Kwan-Ho Lee*, Sung-Kyum Kim*, Sang-Min Ham*, Young-Jin Kim**

*Dept of Civil & Environment Engineering, Kong-ju National University

**LH Corporation Research Institute, Research Fellow, Ph.D

요 약

지하매설물의 안전성은 뒤채움재의 시공과정 및 재료의 품질관리에 큰 영향을 받는다. 최근 지하매설물의 파손형태를 검토한 결과, 파손의 주요 원인으로 부적절한 뒤채움재 이용 및 충분하지 못한 다짐 등이 있다. 이러한 원인으로 매설물 주위의 지반침하로 인한 파손이 빈번하게 발생하고 있다.

본 연구에서는 현장에서 발생하는 현장발생토사, 정수장처리장의 정수슬러지, 화력발전소의 플라이애쉬, 페타이어 고무분말 등을 혼합한 유동성 뒤채움재의 최적배합설계 및 설계에 필요한 기본적인 강도특성을 규명하였다.

1. 서론

1.1. 개발 배경

라이프라인은 인간에게 필요한 각종 생활편익을 제공하고 있지만 지중에 매설되는 각종 관들은 그 위험성이 쉽게 노출되면 피해가 엄청나게 발생할 수 있으며, 집중강우강도, 빗물의 적절한 배수로 미확보, 관로의 파손, 연결부의 결함 등으로 인한 피해사례가 발생하고 있는 실정이다. 이 외에도 현재 국내의 주요 사용 관종인 흙관의 경우 관부식의 문제의 대두로 우수관으로는 부적합하다는 인식이 기술자들 사이에서 나오고 있는 실정이다. 이러한 문제를 해결하기 위해 대체관들에 대한 연구들이 진행되어 왔으며 상당 수의 관들이 제품으로 출시되어 현장으로 배급·시공되고 있다. 최근에 들어 과형강관, PE관, PVC 등의 연성관은 부식에 강할 뿐만 아니라 자체의 무게가 경량이어서 시공공성이 탁월하다. 이러한 이점 때문에 흙관이 점령하고 있는 하수관 시장은 연성관으로 점차 이동 중에 있으며, 특히 우수관의 경우는 상대적으로 빠른 속도로 진행되고 있다. 반면에 연성관은 강성관에 비할 때 관의 강도가 떨어지며 따라서 관변형이 상대적으로 크게 나타나고 있

다. 이러한 결점을 보완하기 위해 관 뒤채움에 대한 다짐을 철저히 하는 방법을 주로 취하고 있으나, 국내의 여러 현장에서의 보고에 따르면 철저한 다짐을 한 경우에 있어서도 지반조건, 토질 등에 따라 과도한 변형을 일으키는 빈도가 자주 발생한다는 지적들이 있는 실정이다. 따라서 이러한 문제점에 대한 개선책이 필요할 것으로 판단되며, 곧 상당수의 지자체 등에서 문제를 삼을 것으로 예상된다.

이에 본 연구과제에서는 보완대책으로서 상호배반적인 두 가지 특성을 만족하는 뒤채움재를 개발하고자 하였다. 그 특성 중 하나는 뒤채움재의 강도가 충분히 커서 과형강관의 변형을 최소화 할 수 있어야 한다는 것이다. 즉, 관 상부의 하중을 뒤채움재로 분산되도록 하는 역할을 할 수 있는 재료이어야 한다는 것이다. 또 하나는 뒤채움재의 강도가 충분히 작아서 재굴착이 가능하여야 한다는 것이다. 도로내에는 여러 라이프라인들이 매설되어 있으며 이들 라이프라인 들은 일시에 매설되지 않을 뿐더러 또한 각자의 필요성에 의해서 재굴착 되는 경우가 수시로 발생한다. 하수관 또한 도로내에 매설되어 있는 라이프라인들 중의 하나이며 또한 다른 라이프라인들 중첩되어 있는 경우가 자주 있으므로 항상 재굴착이

용이해야 한다. 따라서 하수관의 뒤채움재는 재굴착 과정에서 라이프라인이 파괴되지 않는 재료이어야 한다.

본 연구에서는 상기의 특성을 만족하는 뒤채움재인 유동성뒤채움재(Controlled Low Strength Materials, CLSM)에 대한 연구로서 현장에서 발생하는 현장발생토사, 정수장처리장의 정수슬러지, 화력발전소의 플라이애쉬, 폐타이어 고무분말 등을 혼합한 유동성 뒤채움재의 최적배합설계를 제시하는 것을 목적으로 한다.

2. 실험재료 및 방법

2.1 개요

현장발생토, 정수슬러지, 플라이애쉬, 고무분말 및 시멘트를 혼합하여 양생 전에 Flow Test을 통하여 흐름값 측정하였으며, 흐름값이 목표 기준치에 만족하는 값이 측정 되었을 시에는 양생을 실시하여 공시체를 제작하였다. 양생 후에는 3일, 7일, 14일, 28일에 일축압축시험을 실시하여 일축압축강도 및 탄성계수를 구하였다.

2.2 배합 재료

2.2.1 시멘트

시멘트는 국내 A사에서 생산 및 판매되는 1종 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였다. 시멘트의 비중은 3.15를 적용하여 사용하였다.

2.2.2 현장 발생토

천안 간선 도로 공사현장에서 발생한 토사(SP모래)를 #4체를 이용하여 체가름 한 토사를 사용하였다. 실내 시험을 통해 함수비는 KS F 2306에 준해 11.8% 비중은 KS F 2308에 준해 2.172라는 값을 측정하였다.

2.2.3 정수 슬러지

천안 아산 수도 관리단 정수처리장에서 채취한 슬러지를 사용하였다. 현장 발생토와 동일한 실내 시험을 통해 함수비는 373% 비중은 2.172라는 값을 측정하였다.

2.2.4 플라이애시

국내 I사에서 생산 및 판매되는 정제 플라이애시 2종을 사용하였고 비중은 2.1이다.

2.2.5 고무분말

국내 C사에서 생산 및 판매되는 1mm 규격의 고무분말을 사용하였다. 순 고무 비중은 0.93~0.94이고

인장강도는 50~230kg/cm²이다.

2.3 배합설계

2.3.1 기준치 설정

기준치 설정은 표 1에서 나타난 국외 유동화처리토의 기준을 바탕으로 표 2의 목표 기준치를 설정하였다.

[표 1] 국외 유동화 처리토의 기준

분류	일본	미국
특성	현장 잔토 사용	현장잔토 사용하지 않음
대상시료	모래+점토	Fly Ash+모래 폐주물사+모래
유동성 (실린더법)	180~300mm	31.5mm이상
일축압축 강도(qu)	- 1시간: 0.3kg/cm ² 이상 - 4시간: 1.3kg/cm ² 이상 - 28일: 5.6kg/cm ² 이하	- 4시간: 규정없음 - 3일 강도: 1.3kg/cm ² 이상 - 28일 강도: 2.1~10.6kg/cm ² *미국 Ready Mixed 콘크리트 협회
블리딩율 (%)	1%이하	-
침하	3mm	3~6mm

[표 2] CLSM 목표 기준치

목록	목표기준치
유동성(흐름값)	180~300mm
일축압축강도(qu)	- 3일 강도: 1.3kg/cm ² 이상 - 28일 강도: 2.1~7.0kg/cm ²
블리딩율(%)	1%이하

2.3.2 CLSM 배합설계

표 3과 같이 배합범위 내에서 조합하여 다양한 시험한 결과를 바탕으로 표 4 및 5와 같은 최적 배합설계를 결정하였다.

[표 3] 시험을 실시한 배합범위

배합재료	배합범위(중량비)
현장발생토	37 ~ 57%
플라이 애시	10 ~ 23%
고무 분말	0 ~ 5%
시멘트	4~10%
물	25 ~ 29%
현장발생토에 포함되어있는 정수슬러지의 량	5~10%
물/시멘트 비 (W/C)	250~580%

[표 4] 최적배합비(중량비)

Type	현장발생도 *정수슬러지 5%함유	플라이 애시	고무 분말	시멘트	물	W/C
Case1	44%	20%	0%	10%	26%	260%
Case2	41%	20%	3%	10%	26%	260%
Case3	39%	20%	5%	10%	26%	260%

[표 5] 최적배합비(부피비)

Type	현장 발생도	플라이 애시	고무 분말	시멘트	물	정수 슬러지
Case1	34.8%	15.6%	0%	5.2%	42.7%	1.7%
Case2	31.5%	15.2%	5.2%	5.1%	41.5%	1.5%
Case3	29.4%	14.9%	8.4%	5%	40.8%	1.4%

2.4 실험방법

2.4.1 실린더 몰드를 이용한 유동성 시험

CLSM은 뒤채움재로서 충분한 유동성을 갖도록 한다. 이로 인해 자기 수평능력을 가지게 되고 뒤채움 공간을 공극 없이 채울 수 있으며 다짐 장비가 필요없이 자기 다짐의 성질을 갖는다.

미국콘크리트학회(ACI Committee 229, 1994)에서 제안한 $\phi 3in \times 6in$ 실린더를 이용하여 실시하였다. 매끄러운 표면을 가진 유리판을 이용하여 실시하였고 흐름값 측정 시에는 CLSM 중심을 지나는 최소값, 최대값을 측정하여 평균값을 사용하였다. 흐름값이 180~300mm가 나오면 충분한 유동성을 갖는다고 보고 양생을 실시하였다.



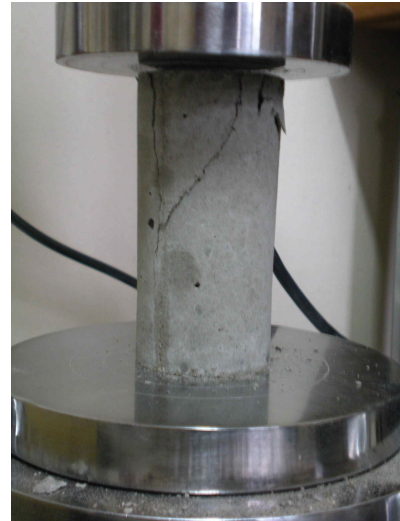
[그림 2] 유동성 시험 후 측정 사진

2.4.2 일축압축강도 시험

공시체는 선정된 배합비로 혼합한 후, $\phi 5cm \times 10cm$ 의 몰드에 부어 3일, 7일, 28일을 양생한 후 KS F2314에 의해 일정한 속도로 파괴시켜 일축 압축강도 값을 측정하고 변형률에 따른 응력변화 그

래프를 이용하여 탄성계수를 구하였다.

본 실험에서는 28일 강도기준을 2.1~7.0kg/cm² 설정한 이유는 ACI Committee 299에서 CLSM 굴착 가능성에 대한 자료에 따라 인력굴착강도 7kg/cm²이하, 장비굴착강도 7~21kg/cm², 비굴착강도 21kg/cm²이상으로 규명되어 있어 인력굴착이 가능한 정도의 강도로서 최종 양생 후 본 기준에 부합여부를 파악하였다.



[그림 2] 공시체 파괴 사진

3. 실험결과 및 데이터 분석

3.1 유동성시험결과

흐름값의 경우 Case 1, 2, 3 모두 20~21.5cm로 기준에 만족하는 값을 얻을 수 있었다. 실험 결과 더 큰 흐름값이 요구 될 시에는 전체 비율에서 물의 비율을 증가시키면 초기 강도에는 낮지만 최종강도는 거의 변함이 없다는 결과를 얻을 수 있었다.

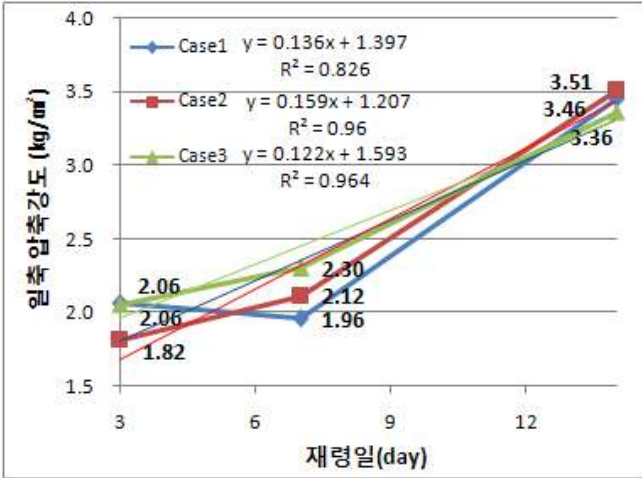
3.2 일축압축강도시험결과

각 재령별로 3개의 공시체를 제작하여 일축 압축시험을 실시하여 평균값을 사용하였다. 그림3에서 보는 것과 같이 재령 3일강도 기준을 만족하는 것을 볼 수 있고, 재령 14일 강도의 경우 모두 3.3kg/cm²이상으로 측정되어 이미 28일 기준 강도에 만족하는 측정값을 얻을 수 있었다.

탄성계수의 경우 KS F 2314에 따라 변형률에 따른 응력그래프를 작성하여 $E_{50} = \Delta\sigma / \Delta\varepsilon$ 을 이용하여 구할 수 있다. 산정한 값은 표 6과 같다.

참고문헌

- [1] 서창범 외, “재령에 따른 화강풍화토 유동성 뒷채움재의 강도 및 강성 평가”, 한국도로학회 2009년도 봄 학술대회 논문집, pp. 121 ~ 128, 3월, 2009.
- [2] 조대호 외, “현장발생토를 활용한 토류구조물 뒷채움용 유동화처리토의 최적 배합비 산정과 재료거동에 관한 실험적 연구”, 대한토목학회논문집 C 大韓土木學會論文集 제27권 제3 C호, pp. 175 ~ 184, 5월 2007.
- [3] 박재현 외, “유동성 채움재를 이용한 지하매설관의 변형특성 연구”, 한국도로학회 학술발표회 논문집 한국도로학회 2004년도 봄 학술발표대회 논문집, pp. 123 ~ 130, 2월 2004.
- [4] 송용선 외, “지반 공학 실험법 및 응용”, 세진사, 1996.
- [5] 천병식 외, “토공재로서의 정수장 슬러지의 토질공학적 특성”, 대한토목학회 학술발표회 논문집 1992년도 학술발표회 개요집 제1권,, pp. 543 ~ 546 10월 1992.



[그림 3] 재령일에 따른 일축압축강도 그래프

[표 6] 각 Case의 탄성계수

	재령3일 (kg/cm²)	재령7일 (kg/cm²)	재령14일 (kg/cm²)
Case1	122.4	186.9	509.9
Case2	122.4	254.9	611.8
Case3	127.5	229.4	509.9

4. 결론

정수장 슬러지와 고무분말로 인하여 CLSM의 압축강도가 많이 저하되는 현상을 보였다. 특히 정수장 슬러지의 경우 미량이 포함되어도 대부분이 수분으로 이루어졌기 때문에 28일 재령이 되면 공시체의 무게가 상당량 줄어들어 경량화가 되어 강도 저하의 원인이 된다. 이러한 이유로 최적배합비산정부분에서 정수 슬러지의 양이 적게 배합하고 플라이 애시 양을 늘리는 방안으로 최적배합비를 결정하였다.

일축압축 부분에서 Case1의 경우 강도가 저하되었다가 증가하는 현상을 보이는데 이는 정수장 슬러지로 인해 강도발현을 구속받다가 재령14일이 되었을 때는 시멘트와 플라이애시에 강도 발현으로 인해 강도가 증가되었다고 예상된다. 정수슬러지를 CLSM에 원활하고 폭넓게 사용하기 위해서는 정수슬러지의 강도 저하원인의 분석과 지속적인 연구가 필요하다.

감사의 글

본 연구는 LH공사 2009년 중소기업기술개발 지원사업 지원에 의해 수행되었고, 이에 감사드립니다.